روابط خاک و گیاه / سال یازدهم / شماره چهارم / زمستان ۱۳۹۹ / صفحات ۱۴-۱
مقاله پژوهشی

اثر پیش‌تیمار بذر با محلول سیلیسیک اسید و سدیم نیتروپروساید بر جوانه‌زنی و رشد دانهال گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای (*Lycopersicon esculentum* L. cv. Isabella) در شرایط تنش شوری

نادر قناعتیان[۱]، عبدالحسین ابوطالبی جهرمی[۲*]، حمید صادقی[۲]، سپیده کلاته جاری[۱] و بهنام بهروزنام[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۶/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۹/۱۵)

چکیده

تغییرات اقلیمی و چالش های ناشی از توسعه نامتعارف کنونی، بخش کشاورزی را در استفاده از منابع آب شیرین دچار محدودیت ساخته است به‌طوری که در وضعیت کنونی ارائه راه‌کارهایی در استفاده از آب‌های شور در این بخش اجتناب‌ناپذیر است. این آزمایش با هدف بررسی اثر پیش‌تیمار بذر با استفاده از سیلیسیک اسید و سدیم نیتروپروساید بر صفات جوانه‌زنی بذر گوجه‌فرنگی رقم ایزابلا تحت شرایط تنش شوری انجام شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۵ تکرار اجرا شد. فاکتور اول پیش‌تیمار شیمیایی بذر با و بدون سیلیسیک اسید به غلظت ۲/۵۰ میلی‌مولار، فاکتور دوم پیش‌تیمار شیمیایی بذر با و بدون محلول سدیم نیتروپروساید به غلظت ۱۰۰ میکرومولار و فاکتور سوم شوری شامل سطوح صفر، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰و ۱۵۰ میلی‌مولار سدیم کلرید به‌ترتیب معادل ۰/۰۶۷، ۲/۴۵۰، ۵/۴۴۰، ۹/۵۲۰ و ۱۴/۱۰۰ دسی‌زیمنس بر متر بود. بر اساس نتایج تجزیه واریانس، سیلیسیک اسید و شوری اثر معنادار بر همه صفات و سدیم نیتروپروساید تنها بر شاخص بنیه بذر اثر معنادار داشت. برهم‌کنش معنادار بین سیلیسیک اسید و سدیم نیتروپروساید در صفات سرعت جوانه‌زنی و میانگین طول دانهال، بین سیلیسیک اسید و شوری در همه صفات به‌جز درصد جوانه‌زنی و شاخص تحمل به تنش، بین سدیم نیتروپروساید و شوری در همه صفات و برهم‌کنش معنادار بین سه فاکتور در صفات سرعت جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر و وزن تازه دانهال مشاهده شد. بر اساس نتایج، در اثر تنش شوری، درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر و شاخص تحمل به تنش به‌طور معنی‌دار کاهش یافت. تحت شرایط شوری، سیلیسیک اسید و سدیم نیتروپروساید تأثیر معنادار در کاهش آثار شوری بر شاخص‌های فوق داشتند. به‌طور کلی می‌توان با پیش‌تیمار بذر گوجه‌فرنگی در محلول ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید و یا محلول ۲/۵۰ میلی‌مولار سیلیسیک اسید به‌تنهایی و یا همراه با هم، آثار منفی شوری تا حداکثر ۱۰۰ میلی‌مولار سدیم کلرید (۹/۵۲ دسی‌زیمنس بر متر) بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر را کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر، شاخص تحمل به تنش

مقدمه

افزایش جمعیت، نیاز به تولیدات کشاورزی و غذای بیشتر و محدودیت منابع آب، بشر را به‌سمت استفاده از آب‌های با کیفیت کم (آب‌های نامتعارف) سوق داده است. شرایط

۱- گروه علوم باغبانی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزد اسلامی، تهران، ایران
۲- گروه علوم باغبانی، واحد جهرم، دانشگاه آزاد اسلامی، جهرم، ایران
* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: aa84607@gmail.com

اقلیمی و زمین‌های کشاورزی در بیشتر مناطق ایران به‌گونه‌ای است که نه تنها آب به اندازه و مقدار کافی در دسترس نیست، بلکه زمین‌های مستعد و قابل احیای زیادی وجود دارند که درصورت رسیدن آب به آنها امکان افزایش تولید قابل توجهی وجود خواهد داشت. همچنین به‌دلیل کمبود منابع آبی و یا وجود منابع آب با کیفیت پایین (آب‌های شور و لب شور)، در تمام دنیا به مدیریت تولید سبزی‌ها تحت شرایط شوری بسیار توجه شده است (۶). گوجه‌فرنگی به‌عنوان مهم‌ترین سبزی تولیدشده در سطح جهان پس از سیب‌زمینی دارای بیش‌ترین ارزش اقتصادی از نظر میزان تولید در بین سبزی‌هاست (۱۷). گوجه‌فرنگی به‌عنوان گیاهی نیمه‌حساس به شوری طبقه‌بندی می‌شود. جوانه‌زنی بذر معمولاً مهم‌ترین مرحله در طول استقرار دانهال است (۹). با این وجود این فرآیند ممکن است به تأخیر افتد یا توسط تنش‌های غیرزیستی مانند تنش شوری به‌طور کلی بازداشته شود (۷). آستانه تحمل به شوری گیاه گوجه‌فرنگی برای آب آبیاری حدود ۲/۰ و برای خاک حدود ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر گزارش شده است (۱۵). تنش شوری باعث جلوگیری از جوانه‌زنی بذرها می‌شود، به‌طوری که تجمع نمک در محیط خاک، جذب آب را توسط بذر محدود می‌کند (۱۰). پاسخ گیاهان به تنش شوری بسیار پیچیده است، و از غلظت نمک، نوع یون‌ها، عوامل مختلف محیطی و مرحله رشد و نموی گیاه تأثیر می‌پذیرد. تحمل شوری پدیده‌ای است که به مراحل نموی وابسته بوده و در این مراحل تنظیم می‌شود (۱۹).

کاربرد مواد بیرون‌زا مانند سیلیسیم و سدیم نیتروپروساید ممکن است یک روش آسان به‌منظور افزایش جوانه‌زنی بذرها در شرایط تنش شوری باشد. سیلیسیم (Si) دومین عنصر فراوان در هسته زمین و عنصری مورد نیاز در تعدادی از فعالیت‌های متابولیکی و فعالیت‌های فیزیولوژیکی در گیاهان است (۳). اگرچه این عنصر جزء عناصر ضروری گیاه محسوب نمی‌شود، با این‌حال، آثار مفیدی در تحمل گیاه به هنگام مواجه با تنش شوری در گیاهان مختلف گزارش شده است. کاربرد سیلیسیم باعث افزایش درصد جوانه‌زنی در گیاهان گندم تحت تنش شوری شده است (۵). حقیقی و همکاران (۷) گزارش کردند که کاربرد نانو سیلیسیم (یک میلی‌مولار) سرعت جوانه‌زنی و درصد جوانه‌زنی بذر گوجه‌فرنگی را در شوری ۵۰ میلی‌مولار نسبت به بذور تیمارنشده با سیلسیم افزایش داد. نیتریک اکسید یا اکسید نیتروژن (NO) یک رادیکال گازی آزاد واکنش‌دار است که به‌عنوان یک مولکول نشانگر قوی در گیاهان و جانوران عمل می‌کند. نیتریک اکسید نقش مهمی را در تنظیم رشد و توسعه گیاه شامل جوانه‌زنی، گلدهی، رسیدن میوه و پیری ایفا می‌کند (۱). سدیم نیتروپروساید (SNP) به‌عنوان آزادکننده نیتریک اکسید، به‌طور گسترده در آزمایش‌های جوانه‌زنی بذر استفاده شده است. فرض بر این است که NO مشتق‌شده از ترکیبات نیتروژن‌دار، ممکن است با مهار فعالیت کاتالاز، جوانه‌زنی را تحریک کند. با مهار کاتالاز، NO باعث افزایش غلظت H_2O_2 درون سلولی می‌شود. گزارش شده است که کاربرد خارجی سدیم نیتروپروساید روی بذرهای گندم زمستانه، می‌تواند یک گزینه مناسب به‌منظور بهبود جوانه‌زنی بذر و استقرار محصول در تنش شوری باشد (۳۰). رقم ایزابلا یکی از مهم‌ترین ارقام گوجه فرنگی با رشد نامحدود است که در شرایط گلخانه‌ای و نیز کشت داربستی گوجه فرنگی کشت می‌شود. در برخی مناطق جنوبی کشور، کشت ارقام گلخانه‌ای در شرایط داربستی (بدون پوشش پلاستیکی و یا با استفاده از توری سایبان) انجام می‌شود. در شرایط جنوب کشور، همچنان در برخی مناطق، مشکل دسترسی به آب شیرین و یا دستگاه آب شیرین‌کن وجود دارد و کشاورزان خود اقدام به تولید نشاء می‌کنند. از طرفی موضوع پرایمینگ بذر صرفاً با هدف بهبود جوانه‌زنی صورت نمی‌گیرد و پارامترهای دیگری مانند سرعت جوانه‌زنی، قدرت بذر و رشد رویشی دانهال نیز مد نظر است. پرایمینگ بذر با موادی مانند سدیم نیتروپروساید و اسید سیلیسیک می‌تواند رشد رویشی دانهال‌ها را پس از انتقال به زمین اصلی بهبود بخشد. از این‌رو شرایط تولید در زمین اصلی همیشه با آب شیرین نبوده و گاهی در مقادیر شوری زیاد

صورت می‌پذیرد. بنابراین پرایمینگ بذر با مواد مختلف می‌تواند نشاء را برای مواجهه با شرایط تنش در زمین اصلی سازگار کند.

با توجه به اینکه تاکنون پژوهشی بر کاربرد هم‌زمان سیلیسیک اسید و سدیم نیتروپروساید بر جوانه‌زنی بذر در هیچ‌گونه گیاهی در کشور گزارش نشده است، هدف از انجام این پژوهش کاربرد سیلیسیک اسید و سدیم نیتروپروساید بر جوانه‌زنی بذر گوجه‌فرنگی رقم ایزابلا تحت شرایط شوری و بررسی صفات جوانه‌زنی و نیز رشد رویشی دانهال بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر خیساندن بذر در محلول سیلیسیک اسید (SiA) و محلول سدیم نیتروپروساید (SNP) تهیه شده از شرکت مرک آلمان، بر رفتار جوانه‌زنی بذر گوجه‌فرنگی رقم ایزابلا (کمپانی مونسانتو آمریکا) تحت تنش شوری، این آزمایش به‌صورت فاکتوریل با ۵ تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی در شرایط اتاق رشد در دانشگاه آزاد اسلامی واحد جهرم انجام شد. در هر تکرار ۵ پتری دیش و در هر پتری دیش ۱۰ عدد بذر در نظر گرفته شد (مجموعاً ۵۰ عدد بذر در هر تکرار). فاکتور اول پیش‌تیمار شیمیایی بذر با و بدون SiA به غلظت ۲/۵۰ میلی‌مولار، فاکتور دوم پیش‌تیمار شیمیایی بذر با و بدون محلول SNP به غلظت ۱۰۰ میکرومولار و فاکتور سوم شوری شامل سطوح صفر، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰و ۱۵۰ میلی‌مولار سدیم کلرید به‌ترتیب معادل ۰/۰۶۷، ۲/۴۵۰، ۵/۴۴۰، ۹/۵۲۰ و ۱۴/۱۰۰ دسی‌زیمنس بر متر بود. ابتدا بذرها بسته به نوع تیمار مورد آزمایش، به‌مدت ۱۵ ساعت در آب مقطر یا محلول SiA به غلظت ۲/۵ میلی‌مولار و یا محلول SNP به غلظت ۱۰۰ میکرومولار خیسانده و سپس بلافاصله در زیر هود جریان هوای یک‌طرفه تعداد ۱۰ بذر روی کاغذ واتمن درون هر پتری دیش قرار داده شد. قطر پتری دیش‌ها ۹ سانتی‌متر بود و همه آن‌ها با ۱۰ میلی‌لیتر آب با سطوح شوری صفر، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار سدیم کلرید از شرکت مرک آلمان مرطوب شدند. برای تهیه محلول‌های مذکور از آب مقطر برای شوری صفر استفاده شد. برای شوری‌های ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار سدیم کلرید به‌ترتیب ۱/۴۵، ۲/۹، ۵/۸ و ۸/۷ گرم نمک طعام با آب مقطر به حجم لیتر رسانده شد. به‌منظور کاهش تبخیر آب، درب پتری دیش‌ها بسته و در اتاق رشد با دمای ۲±۲۰ درجه سلسیوس و طول روز ۱۴ ساعت با شدت نور حدود ۲۰ هزار لوکس به‌مدت ۱۴ روز قرار داده شدند و در پایان دوره نسبت به ثبت اطلاعات زیر اقدام شد.

درصد جوانه‌زنی با استفاده از فرمول (۱) محاسبه شد که در آن G درصد جوانه‌زنی، n تعداد نهایی بذرهای جوانه‌زده و N تعداد بذرهای کشت‌شده است (۲۰):

$$G = (n/N) \times 100 \quad [1]$$

برای تعیین سرعت جوانه‌زنی از فرمول (۲) استفاده شد که در آن V_g سرعت جوانه‌زنی، N_i تعداد بذور جوانه‌زده در هر روز و D_i شماره روز است (۲۰):

$$V_g = \Sigma N_i / D_i \quad [2]$$

شاخص بنیه بذر براساس فرمول (۳) از حاصل‌ضرب مجموع طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در درصد جوانه‌زنی به‌دست آمد (۲۰) که در آن SV بنیه بذر، PL طول ساقه‌چه، RL طول ریشه‌چه و GP درصد جوانه‌زنی است:

$$SV = (PL + RL) \times GP \quad [3]$$

با استفاده از فرمول (۴) شاخص تحمل به تنش به‌دست آمد (۲۰) که در آن SI برابر شاخص تحمل به تنش، SGS تعداد بذر جوانه‌زده در شرایط تنش و SGA تعداد بذر جوانه‌زده در شرایط عادی است:

$$SI=(SGS/SGA) \times 100 \quad [4]$$

همچنین در پایان آزمایش نسبت به اندازه‌گیری وزن تازه دانهال و میانگین طول دانهال اقدام شد. داده‌های به‌دست‌آمده با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.1 تجزیه و تحلیل شد و میانگین‌ها در سطح ۵ ٪ آزمون LSD با هم مقایسه شدند (۲۴).

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات مورد ارزیابی در آزمایش

جوانه‌زنی بذر گوجه‌فرنگی در سطوح مختلف شوری در جدول ۱ ارائه شده است. بر اساس این نتایج، SiA و شوری اثر معنادار بر همه صفات مورد بررسی داشتند. اما SNP تنها بر شاخص بنیه بذر اثر معنادار داشت. در صفات سرعت جوانه‌زنی و میانگین طول دانهال، برهم‌کنش معنادار بین SiA و SNP مشاهده شد. برهم‌کنش معنادار بین SiA و شوری در همه صفات به‌جز درصد جوانه‌زنی و شاخص تحمل به تنش وجود داشت. برهم‌کنش بین SNP و شوری در همه صفات معنی‌دار بود. از طرفی برهم‌کنش معنادار بین سه فاکتور در صفات سرعت جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر و وزن تازه دانهال مشاهده شد (جدول ۱).

درصد جوانه‌زنی بذر

مقایسه میانگین اثر اصلی SiA بر درصد جوانه‌زنی بذر نشان داد که با افزودن ۲/۵ میلی‌مولار SiA میزان این صفت به‌طور معنادار نسبت به عدم افزودن آن افزایش یافت که میزان افزایش ۶/۴ درصد بود (شکل ۱).

مقایسه میانگین برهم‌کنش SNP و شوری بر درصد جوانه‌زنی نشان داد که کم‌ترین درصد جوانه‌زنی در شرایط عدم استفاده یا استفاده از SNP در شوری ۱۵۰میلی‌مول سدیم کلرید (به‌ترتیب ۶۹ و ۴۶ درصد) مشاهده شد. بین بقیه تیمارها تفاوت معنادار مشاهده نشد و همگی بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی را داشتند. در هر دو حالت بود یا نبود SNP، با افزایش سطح شوری از صفر به ۱۰۰ میلی‌مولار سدیم کلرید، درصد جوانه‌زنی تغییری نکرد ولی با افزایش سطح شوری از ۱۰۰ به ۱۵۰ میلی‌مولار سدیم کلرید، درصد جوانه‌زنی به‌طور معنادار کاهش یافت (حدود ۵۰ درصد). در این رابطه افزودن SNP در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار سدیم کلرید نتوانست از آثار منفی شوری بر جوانه‌زنی بکاهد و برعکس منجر به کاهش آن نیز شد (شکل ۲). به‌نظر می‌رسد SNP در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار به‌دلیل وجود سدیم، با ایجاد حالت هم‌افزایی، موجب تشدید آثار منفی ناشی از شوری شده است. جوانه‌زنی یکی از حساس‌ترین مراحل دوره رشدی گیاه است که به‌شدت با افزایش شوری باز داشته می‌شود (۱۸). کاربرد خارجی SNP و SiA اثر تحریک‌کننده شدیدی بر جوانه‌زنی بذر در شرایط تنش و غیرتنش دارد (۴).

سرعت جوانه‌زنی

در مقایسه میانگین برهم‌کنش سه فاکتور SiA، SNP و شوری بر سرعت جوانه‌زنی مشخص شد که بیشترین سرعت جوانه‌زنی در عدم استفاده از SiA و SNP در شوری ۲۵ میلی‌مولار و نیز استفاده از SiA به غلظت ۲/۵ میلی‌مولار و یا SiA2.5 mM + SNP100 µM در شوری صفر (به‌ترتیب ۳/۲۶، ۳/۳۰ و۳/۳۳ درصد) و کم‌ترین آن در عدم استفاده از SiA و استفاده از SNP100 µM و یا استفاده از SiA2.5 mM + SNP100 µM در سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم (به‌ترتیب ۰/۲۷ و ۰/۴۵ درصد) مشاهده شد. در شوری‌های ۲۵ و ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، عدم استفاده از SiA و SNP منجر به افزایش سرعت جوانه‌زنی در مقایسه با تیمارهای ترکیبی SiA + SNP شد. در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، استفاده از SiA2.5 mM + SNP100 µM و در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم استفاده از SiA2.5 mM بدون استفاده از SNP منجر به افزایش سرعت جوانه‌زنی شد (جدول ۲).

در پژوهش حاضر، افزایش سرعت جوانه‌زنی با استفاده از SiA در شوری‌های ۱۰۰ و ۱۵۰ مشاهده شد که با نتایج مشبکی‌اصفهانی و همکاران (۲۰۱۸) همخوانی دارد (۱۷).

شاخص بنیه بذر

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها در جدول (۲)، شوری منجر به کاهش معنی‌دار شاخص بنیه بذر شد و در این رابطه بیشترین شاخص بنیه بذر(۱/۷۱) از تیمار شوری صفر همراه با ۱۰۰ میکرومولار SNP و ۲/۵ میلی‌مولار SiA به‌دست آمد. کاربرد SNP هم تأثیری بر شاخص بنیه بذر در سطوح شوری نداشت ولی کاربرد SiA همراه با SNP و یا بدون SNP تا سطح شوری

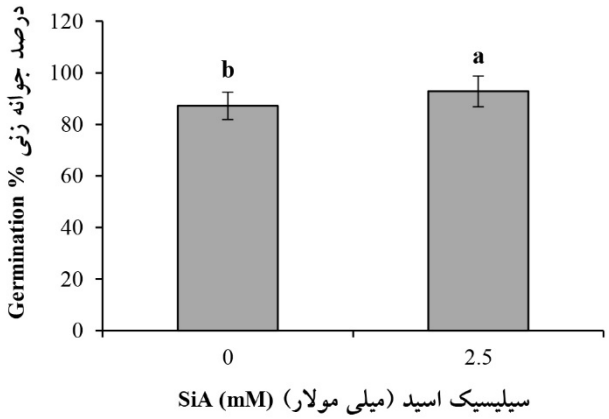
جدول ۱. تجزیه واریانس داده‌ها در رابطه با صفات مربوط به جوانه‌زنی بذر گوجه فرنگی و رشد رویشی دانهال‌ها.

Table 1. Analysis of variance of the data related to tomato seed germination and seedling growth traits.

	میانگین مربعات Mean Square						
منابع تغییر SV	درجه آزادی	درصد جوانه‌زنی Germination (%)	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	شاخص بنیه بذر Vigor seed index	شاخص تحمل به تنش Stress index	میانگین طول دانهال Average seedling length	وزن تازه دانهال Fresh weight of seedling
اسید سیلیسیک (A) SiA	80	125.0	0.07	0.03	129.5	3.1	7377.2
سدیم نیتروپروساید (B) SNP	4	81.5 ns	0.21*	0.37**	99.0 ns	5.4 ns	32735.1**
شوری (C) Salinity	4	631.5**	0.42**	0.42**	681.0**	10.4*	32742.5**
برهم‌کنش A×B A×B Interaction	4	291.5 ns	0.99**	1.05**	321.0 ns	31.9**	34256.4**
برهم‌کنش A×C A×C Interaction	1	4.0 ns	0.44*	0.06 ns	9.0 ns	16.6*	718.2 ns
برهم‌کنش B×C B×C Interaction	4	6717.5**	22.55**	4.90**	6881.0**	462.4**	1183551.8**
برهم‌کنش A×B×C A×B×C Interaction	1	324.0 ns	0.26 ns	0.33**	361.0 ns	0.6 ns	24211.4 ns
خطا	1	784.0*	0.47*	1.67**	841.0*	397.6**	546416.6**
ضریب تغییرات CV%		12.4	14.6	16.7	12.7	15.4	18.9

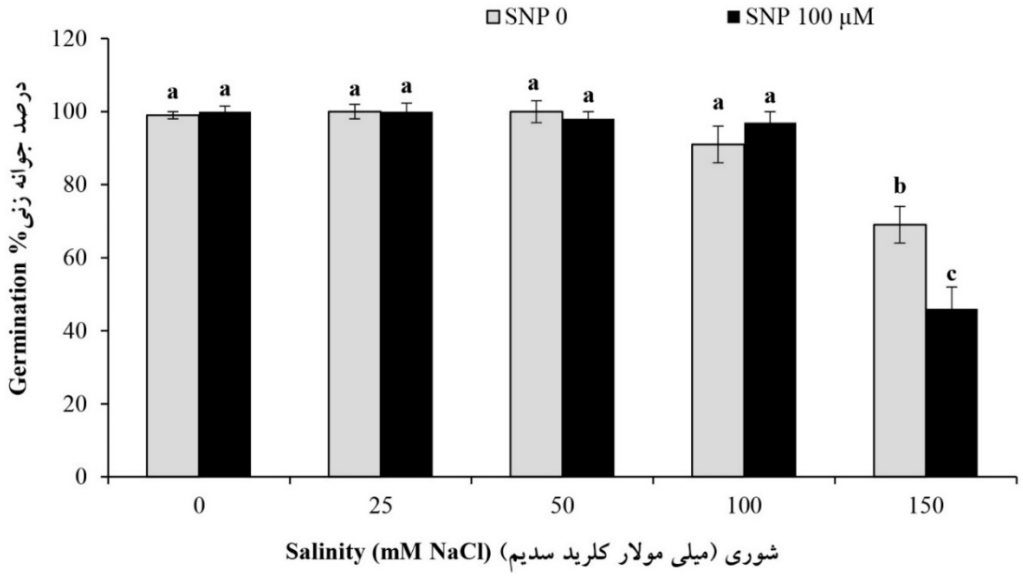
ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد

ns, * and ** non-significant and significant at 5 and 1%, respectively



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر اصلی غلظت سیلیسیک اسید (SiA) بر درصد جوانه‌زنی بذر گوجه‌فرنگی؛ ستون‌های دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد اختلاف معنادار باهم ندارند.

Fig. 1. Mean comparisons of the individual main effect of the silicic acid (SiA) concentration on the tomato seed germination percentage; Columns with the same letters do not represent a significant difference at the 5% level of the LSD test.



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش سدیم نیتروپروساید (SNP) و شوری بر درصد جوانه‌زنی بذر گوجه‌فرنگی؛ ستون‌های دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد اختلاف معنادار باهم ندارند.

Fig. 2. Mean comparisons of the interaction effect of the sodium nitroprusside (SNP) concentration on the tomato seed germination percentage; Columns with the same letters do not represent a significant difference at the 5% level of the LSD test.

۱۰۰ میلی‌مولار سدیم کلرید به‌طور معنادار باعث حفظ بنیه بذر شد (جدول ۲). در پژوهش انجام‌شده در مورد بذر گوجه‌فرنگی رقم PS نیز کاربرد نانوذرات سیلیکون توانست شاخص بنیه بذر را در شرایط تنش شوری افزایش دهد (۱۷).

شوری خاک یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در کشاورزی محسوب می‌شود و دامنه تحمل گیاهان نسبت به شوری متفاوت است، بنابراین انتخاب گیاه برای کشت در زمین‌های شور، باید از جنبه‌های مختلف بررسی شود (۱۲). اگرچه تنش شوری در تمام مراحل رشد گیاه ممکن است رخ دهد، اما با توجه به اینکه شرایط استقرار اولیه گیاه، در عملکرد نهایی تأثیر زیادی دارد، بنابراین تنش شوری در مرحله دانهالی، می‌تواند برای گیاه بسیار مضر باشد (۲۱). بررسی اثر سرعت و درصد

جدول ۲. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش سه‌گانه سیلیسیک اسید (SiA)، سدیم نیتروپروساید (SNP) و شوری بر سرعت جوانه‌زنی بذر گوجه‌فرنگی.

Table 2. Mean comparisons of the triple interaction effect of silicic acid (SiA), sodium nitroprusside (SNP) and salinity on the tomato seed germination rate.

وزن تازه دانهال (میلی‌گرم) Fresh weight of seedling (mg)	شاخص بنیه بذر Seed vigor index	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	صفت SNP × Si × Salinity		
355 gh	1.54ab	2.52bc	SNP 0 µM	SiA 0 mM	Salinity شوری 0
454 fg	1.56ab	2.82b	SNP 100 µM		
479 f	1.70a	3.30a	SNP 0 µM	SiA 2.5 mM	
457 fg	1.71a	3.33a	SNP 100 µM		
596 de	1.44b	3.16a	SNP 0 µM	SiA 0 mM	Salinity شوری 25 mM
711 bc	1.39bc	2.40cd	SNP 100 µM		
784 ab	1.51ab	2.35cd	SNP 0 µM	SiA 2.5 mM	
829 a	0.46fg	2.40cd	SNP 100 µM		
630 cd	1.14d	2.40cd	SNP 0 µM	SiA 0 mM	Salinity شوری 50 mM
417 fgh	0.69e	1.90e	SNP 100 µM		
732 abc	1.50ab	2.10de	SNP 0 µM	SiA 2.5 mM	
748 ab	1.48b	1.83ef	SNP 100 µM		
165 i	0.41fgh	0.78gh	SNP 0 µM	SiA 0 mM	Salinity شوری 100 mM
339 h	0.62ef	0.79gh	SNP 100 µM		
465f	1.19cd	1.05g	SNP 0 µM	SiA 2.5 mM	
520ef	1.36bcd	1.52f	SNP 100 µM		
96 ij	0.20hi	0.49hi	SNP 0 µM	SiA 0 mM	Salinity شوری 150 mM
49 j	0.15i	0.27i	SNP 100 µM		
92 ij	0.37gh	0.58hi	SNP 0 µM	SiA 2.5 mM	
182i	0.44fg	0.45i	SNP 100 µM		

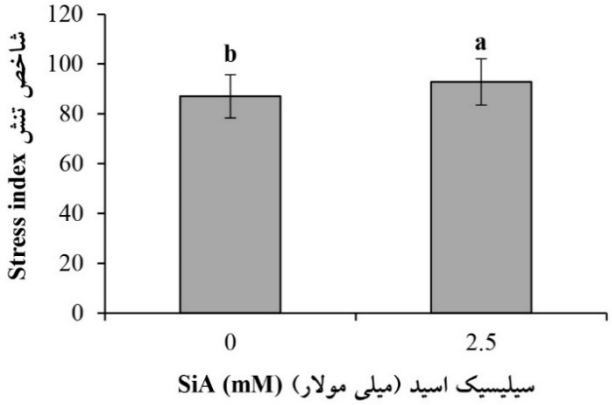
در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک، بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد اختلاف معنادار باهم ندارند.

Means in each columns with the same letters do not represent a significant difference at the 5% level of the LSD test.

جوانه‌زنی در بسیاری از گیاهان نشان داده است که تنش شوری در مرحله جوانه‌زنی یک آزمون قابل اطمینان، در ارزیابی تحمل بسیاری از گونه‌ها است زیرا این مرحله به‌شدت تحت تأثیر میزان املاح قرار می‌گیرد و شوری باعث کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی می شود (۲). نمک موجب کاهش جذب آب توسط بذور و افزایش جذب یون‌ها تا حد مسمومیت می‌شود، بدین ترتیب جوانه‌زنی بذر و ظهور دانهال کاهش می‌یابد (۲). بر اساس نتایج پژوهش حاضر، با افزایش شوری، درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه زنی و شاخص بنیه بذر کاهش یافت درحالی که استفاده از تیمارهای حاوی سیلیسیک اسید، پارامترهای جوانه‌زنی را در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش داد.

وزن تازه دانهال

مقایسه میانگین برهم‌کنش سه فاکتور بر وزن تازه گیاه مشخص کرد که بیشترین وزن تازه دانهال در تیمار استفاده از SiA2.5 mM + SNP100 µM در شوری ۲۵ میلی‌مولار سدیم کلرید (۸۲۹ گرم) و کم‌ترین آن در عدم استفاده از SiA و استفاده از SNP100 µM در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار سدیم کلرید (۴۹ میلی‌گرم) مشاهده شد. در همه سطوح شوری استفاده از SiA2.5 mM + SNP100 µM منجر به افزایش وزن تازه دانهال در مقایسه با بقیه تیمارهای ترکیبی SiA + SNP شد (جدول ۲). در یک پژوهش، استفاده از ۱ میلی‌مولار SiA در شرایط تنش شوری ناشی از کلرید کلسیم باعث افزایش وزن برگ در گیاه



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر سیلیسیک اسید (SiA) بر شاخص تحمل به تنش دانهال گوجه‌فرنگی؛ ستون‌های دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد اختلاف معنادار باهم ندارند.

Fig. 3. Mean comparisons of the effect of silicic acid (SiA) on the stress index of tomato seedlings; Columns with the same letters do not represent a significant difference at the 5% level of the LSD test.

شمعدانی معطر شد (۸). افزایش وزن تازه گیاه در شرایط تنش شوری، با استفاده از کاربرد سیلیسیم در بسیاری از گیاهان مانند خیار (۱۶)، اسفناج (۱۴)، کدوی زوچینی (۲۳)، ریحان (۱۱) و لوبیا (۳۱) گزارش شده است که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد.

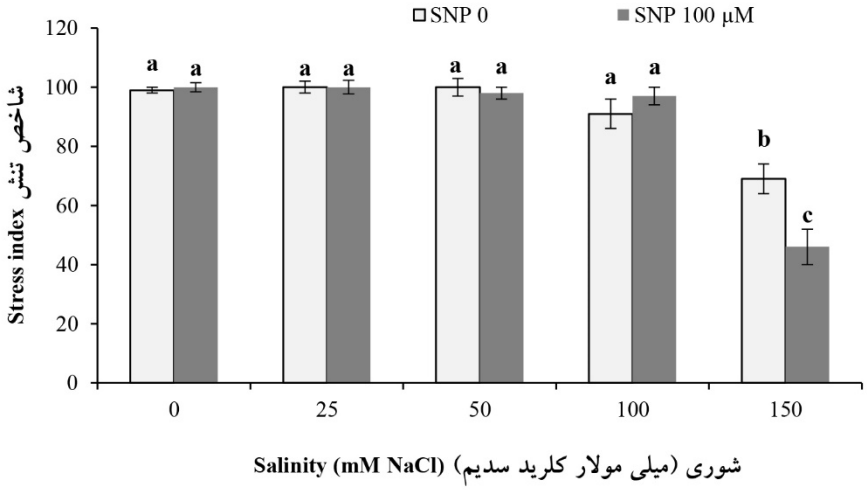
شاخص تحمل به تنش

مقایسه میانگین اثر اصلی SiA بر شاخص تحمل به تنش نشان داد که افزودن SiA به‌طور معنادار منجر به افزایش شاخص تحمل به تنش شد (شکل ۳).

مقایسه میانگین برهم‌کنش SNP و شوری بر شاخص تحمل به تنش نشان داد که کم‌ترین شاخص تحمل به تنش در عدم استفاده یا استفاده از SNP در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار سدیم کلرید (به‌ترتیب ۶۹ و ۴۶) مشاهده شد. بین بقیه تیمارها تفاوت معنادار مشاهده نشد و همگی در بیش‌ترین سطح شاخص تحمل به تنش قرار داشتند. در هر دو حالت نبود و یا وجود SNP با افزایش سطح شوری از صفر به ۱۰۰ میلی‌مولار سدیم کلرید، شاخص تحمل به تنش تغییری نکرد ولی با افزایش شوری از ۱۰۰ به ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، شاخص تحمل به تنش به‌طور معنادار کاهش یافت (شکل ۴). شاخص تحمل به تنش، یکی از شاخص های اندازه گیری میزان عملکرد گیاه در شرایط تنش در مقایسه با شرایط طبیعی گیاه است (۸). در مجموع در اثر استفاده از سیلیسیک اسید، شاخص تحمل به تنش افزایش معنادار یافت. در یک پژوهش، کاربرد ۱ میلی‌مولار SiA منجر به افزایش شاخص تحمل به تنش در گیاه شمعدانی معطر، در شرایط تنش شوری ناشی از کلرید کلسیم شد (۸) که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد.

مقایسه میانگین برهم‌کنش SNP و شوری بر میانگین طول دانهال‌ها نشان داد که بیشترین میانگین طول گیاه در عدم استفاده و یا استفاده از SNP در شوری صفر (به‌ترتیب ۱۶/۳۰ و ۱۶/۴۰ سانتی‌متر) و کم‌ترین آن در عدم استفاده و یا استفاده از SNP در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار سدیم کلرید (به‌ترتیب ۳/۹۰ و ۴/۷۰ سانتی‌متر) مشاهده شد. در هر دو حالت نبود و یا وجود SNP با افزایش سطح شوری از صفر به ۱۵۰ میلی‌مولار سدیم کلرید، میانگین طول گیاه کاهش یافت. در این رابطه افزودن SNP در هیچ‌یک از سطوح شوری نتوانست به‌طور معنادار آثار منفی شوری بر میانگین طول گیاه را بکاهد (شکل ۵).

مقایسه میانگین برهم‌کنش SiA و شوری بر میانگین طول دانهال‌ها نشان داد که بیشترین میانگین طول گیاه در استفاده از SiA در شوری صفر (۱۷/۱ سانتی‌متر) و کم‌ترین آن در شرایط عدم استفاده از SiA در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار سدیم کلرید



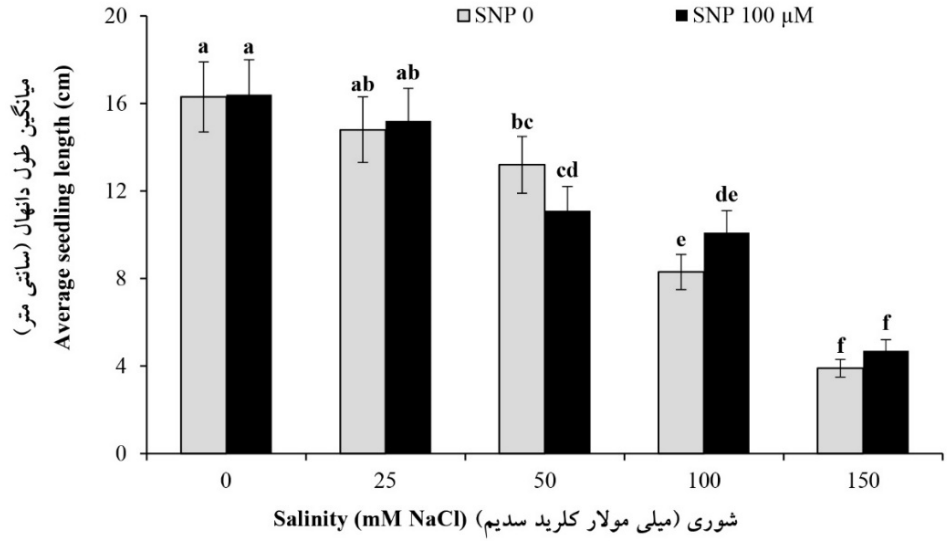
شکل ۴. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش سدیم نیتروپروساید (SNP) و شوری بر شاخص تحمل به تنش دانهال گوجه‌فرنگی؛ ستون‌های دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد اختلاف معنادار باهم ندارند.

Fig. 4. Mean comparisons of the interaction effect of sodium nitroprusside (SNP) and salinity on the stress index of tomato seedlings; Columns with the same letters do not represent a significant difference at the 5% level of the LSD test.

(۲/۸ سانتی‌متر) مشاهده شد. در هر دو حالت نبود و یا وجود SiA با افزایش سطح شوری از صفر به ۱۵۰ میلی‌مولار سدیم کلرید، میانگین طول گیاه کاهش یافت. در این رابطه افزودن SiA در همه سطوح شوری توانست آثار منفی شوری بر میانگین طول گیاه را تعدیل کند (شکل ۶). حسنوند و همکاران (۲۰۱۷) نیز در استفاده از ۱ میلی‌مولار SiA افزایش ارتفاع گیاهان شمعدانی معطر را در شرایط تنش شوری ناشی از ۱۵ میلی‌مولار کلرید کلسیم گزارش کردند. هرچند با افزایش تنش شوری، کاربرد SiA اثری بر ارتفاع گیاه نداشت (۸). تنش شوری از طریق تأثیر بر فرایندهای فیزیولوژیک، مانند فتوسنتز، میزان رشد محصول را کاهش می‌دهد. یاماگوچی و بلووالد (۲۰۰۵) گزارش کرده‌اند که در اثر تنش شوری ارتفاع گیاه خیلی سریع‌تر از سایر پارامترهای فنولوژیکی کاهش می‌یابد (۲۸).

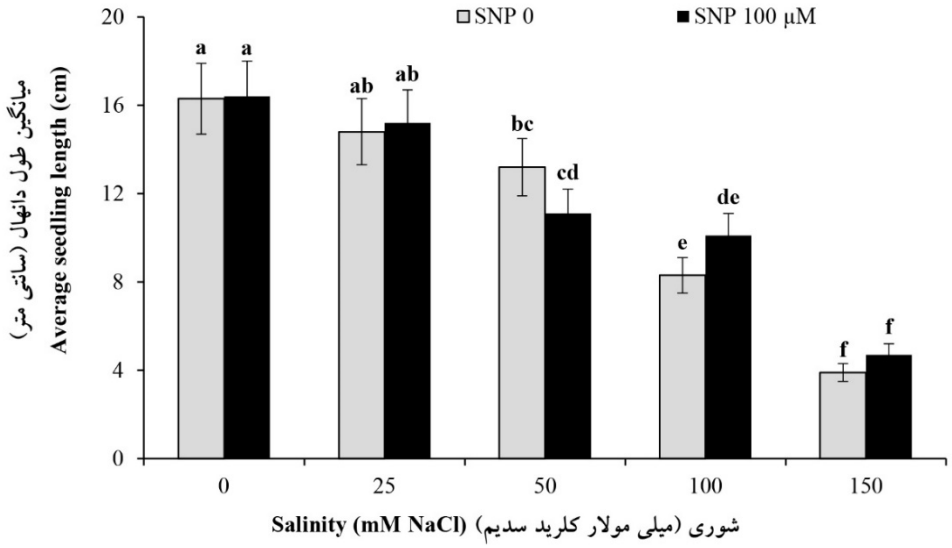
براساس نتایج پژوهش حاضر، درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر، وزن تازه دانهال، شاخص تحمل به تنش و طول گیاه در اثر تنش شوری کاهش یافت. با این‌حال کاربرد SiA و SNP قادر به کاهش اثر شوری و افزایش در برخی فاکتورهای اندازه‌گیری‌شده بود. نتایج این پژوهش با پژوهش‌های پیشین در گیاهان مختلف هم‌خوانی دارد. وانگ و همکاران (۲۷) نشان دادند که سیلیسیلیک اسید در غلظت‌های ۱ تا ۵ میلی‌مولار، سرعت جوانه‌زنی، شاخص جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر در گیاه *Momordica charantia* را در شرایط تنش شوری افزایش داد. همچنین سانگ و همکاران (۲۵) گزارش کردند که کاربرد SNP در غلظت ۰/۱ میلی‌مولار، جوانه‌زنی *Salsola soda* L. را در تنش شوری بهبود بخشید. در پژوهشی دیگر، کاربرد خارجی SiA در شرایط تنش بی‌کربنات سدیم، ویژگی‌های جوانه‌زنی بذور خیار را افزایش داد (۲۶). گزارش شده است که کاربرد نیتریک اکسید می‌تواند به‌عنوان محرک مقاومت به شوری در گیاه به‌کار رود (۳۰). کاربرد SNP برای بهبود جوانه‌زنی بذر چمن لولیوم، از طریق فعال کردن آنزیم آلفا آمیلاز منجر به افزایش جوانه‌زنی بذر شد (۱۳).

به‌طور کلی، تمام پژوهش‌های یادشده نشان می‌دهد که اگر چه SNP و SiA قادر به بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی بذر در شرایط شوری هستند ولی مکانیسم اساسی به‌منظور درک بهتر نقش این دو ماده در شرایط شوری در مراحل اولیه رشد، نیاز به بررسی‌های بیشتر دارد (۲۲).



شکل ۵. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش سدیم نیتروپروساید (SNP) و شوری بر میانگین طول دانهال گوجه‌فرنگی؛ ستون‌های دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد اختلاف معنادار باهم ندارند.

Fig. 5. Mean comparisons of the interaction effect of sodium nitroprusside (SNP) and salinity on the average tomato seedlings length; Columns with the same letters do not represent a significant difference at the 5% level of the LSD test.



شکل ۶. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش سیلیسیک اسید (SiA) و شوری بر میانگین طول دانهال گوجه‌فرنگی؛ ستون‌های دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد اختلاف معنادار باهم ندارند.

Fig. 6. Mean comparisons of the interaction effect of silicic acid (SiA) and salinity on the average tomato seedlings length; Columns with the same letters do not represent a significant difference at the 5% level of the LSD test.

نتیجه‌گیری

براساس نتایج این پژوهش در اثر تنش شوری، درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر و شاخص تحمل به تنش به‌طور معنادار کاهش یافت. تحت شرایط شوری، SNP و SiA تأثیر معنادار در تعدیل آثار شوری بر شاخص‌های فوق داشتند. به‌طور کلی می‌توان با پیش‌تیمار بذر گوجه‌فرنگی در محلول ۱۰۰ میکرومولار SNP و یا محلول ۲/۵ میلی‌مولار SiA به‌تنهایی و یا همراه با هم، آثار منفی شوری تا حداکثر

۱۰۰ میلی‌مولار سدیم کلرید (۹/۵۲ دسی‌زیمنس بر متر) بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر را کاهش داد. استفاده از SiA به طور معنادار درصد جوانه‌زنی را نسبت به عدم استفاده از آن افزایش داد هرچند کاربرد SNP اثر مثبتی بر درصد جوانه‌زنی نداشت. کاربرد توأم SiA و SNP در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، به‌طور معنادار سرعت جوانه‌زنی را افزایش داد با این‌حال کاربرد این دو ماده در شرایط بدون شوری، منجر به افزایش معنی‌دار سرعت جوانه‌زنی شد. بنابراین کاربرد این دو ماده در شرایط عدم وجود شوری نیز قابل توصیه است. آثار مثبت کاربرد توأم دو ماده مذکور در شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار سدیم کلرید بر بنیه بذر، می‌تواند به‌عنوان یک تیمار مناسب در شرایط تنش شوری قلمداد شود. همچنین آثار مثبت کاربرد توأم دو ماده مذکور در مقادیر شوری ۲۵ و ۵۰ میلی‌مولار سدیم کلرید بر وزن تازه دانهال، به‌عنوان یک شاخص می‌تواند در بهبود رشد رویشی نشاء مدنظر قرار گیرد.

منابع مورد استفاده

1. Arasimowicz, M., Floryszak-Wieczorek, J., 2007. Nitric oxide as a bioactive signaling molecule in plant stress responses. *Plant Science* 172: 876–887. https://doi.org/10.1016/j.plantsci. 2007.02.005.
2. Ashraf, M., Foolad, M.R., 2005. Pre-sowing seed treatment a shotgun approach to improve germination, plant growth and crop yield under saline and non saline conditions. *Advances in Agronomy* 88: 223–271.
3. Avestan, S., Lotfalim N., 2016. Effects of nano silicon (SiO_2) application on *in vitro* proliferation of Gala apple cultivar. *Iranian Journal of Horticultural Science* 46(4): 669–675.
4. Beligni, M.V., Lamattina, L., 2000. Nitric oxide stimulates seed germination and de-etiulation, and inhibits hypocotyl elongation, light-inducible responses in plants. *Planta* 210(2): 215–221. https://doi.org/10.1007/PL00008128.
5. Bybordi, A., 2014. Interactive effects of silicon and potassium nitrate in improving salt tolerance of wheat. *Integrative Journal of Agriculture* 13: 1889–1899. (In Persian)
6. Faalian, A., Ansari, H., Kafi, M., Alizadeh, A., Moghaddasi, M., 2015. Effect of salinity and drought stresses on economical aspect of hydroponic production of greenhouse tomato. *Journal of Water Research in Agriculture* 29(3): 317–330. (In Persian)
7. Haghighi, M., Afifipour, Z., Mozafarian, M., 2012. The alleviation effect of silicon on seed germination and seedling growth of tomato under salinity stress. *Vegetable Crops Research Bulletin* 76: 119–126. (In Persian)
8. Hassanvand, F., RezaeiNejad, A. Feizian, M., 2017. Effect of silicic acid on some morphological and physiological characteristics of *Pelargonium graveolens* L. under $CaCl_2$ salinity stress. *Plant Research Journal* 30(2): 309–317. (In Persian)
9. Hubbard, M., Germida, J., Vujanovic, V., 2012. Fungal endophytes improve wheat seed germination under heat and drought stress. *Botany* 90(2): 137–149.
10. Gupta, B., Huang, B., 2014. Mechanism of salinity tolerance in plants: physiological, biochemical, and molecular characterization. *International Journal of Genomics* 2014: 701596. https://doi.org/10.1155/ 2014/701596.
11. Kalteh, M., Alipour, Z., Ashraf, S., Marashi Aliabadi, M., Falah Nosratabadi, A., 2014. Effect of silica nano-particles on Basil (*Ocimum basilicum*) under salinity stress. *Journal of Chemistry Health Risks*. 4(3): 49–55. (In Persian)
12. Khan, M.A., Gulzar, S., 2003. Germination responses of *Sporobolus ioclados*: A saline desert grass. *Journal of Arid Environment* 55: 453–464.
13. Liu J.X., Wang, X., Le, R.X., 2007. Effect of exogenous nitric oxide donor SNP on seed germination and seedling growth of *Lolioum multiflorum*. *Chinese Journal of Ecology* 3: 543–546.
14. Mateos-Naranjo, E., L. Andrade's-Moreno, L., Davy, A.J., 2013. Silicon alleviates deleterious effects of high salinity on the halophytic grass *Spartina densiflora*. *Plant Physiology and Biochemistry* 63: 115–121.
15. Malakuti, M.J., Keshavarz, P., Saadat, S., Kholdbarin, B., 2003. Plant Nutrition Under Saline Condition. Sana Publication 233p. (In Persian)
16. Mohaghegh, P., Shirvani, M., Ghasemi, S., 2010. Effect of silicium on growth and yield of two cucumber cultivars in hydroponic system. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Cultivations* 1(1): 35–39. (In Persian)
17. Moshabaki Isfahani, F., Tahmoorespour, A., Hoodaji, M., Ataabadi, M., Mohamadi. A., 2018. Effect of bacterial inoculation, bacterial exopolysaccharide and nano SiO_2 particles on seed germination of *Solanum lycopersicum* under salinity stress. *Soil Biology Journal* 6(1): 43–55. (In Persian)
18. Parvaiz, A., Satyawati, S., 2008. Salt stress and phyto-biochemical responses of plants – a review. *Plant Soil and Environment* 54: 89–99.

19. Pouresmael, M., Valiani, E., 2011. Genetic diversity evaluation of salinity tolerance in Kabuli chickpea core collection of National Plant Gene Bank of Iran at germination stage. *Journal of Applied Biology* 24(1): 13–31.
20. Rahimi, A., Shamsodin, M.S., Etemadi, F., 2011. Effects of salt stress on germination, growth and ion contents of Cumin (*Nigella sativa* L.). *Arid Biom Scientific and Research Journal* 1(2): 20–30.
21. Rauf, M., Afzal, M., Munir, M., 2007. Performance of wheat genotypes under osmotic stress at germination and early seedling growth stage. *African Journal of Biotechnology* 6: 971–975.
22. Rizwan, M., Meunier, J.D., Miche, H., Keller, C., 2012. Effect of silicon on reducing cadmium toxicity in durum wheat (*Triticum turgidum* L. cv. Claudio W.) grown in a soil with aged contamination. *Journal of Hazard Material* 209: 210: 326–334.
23. Savvas, D., Giotis, D., Chatzieustratiou, E., Bakea, M., Patakioutas, G., 2009. Silicon supply in soilless cultivations of zucchini alleviates stress induced by salinity and powdery mildew infections. *Environmental Experimental Botany* 65: 11–17.
24. Soltani, A., Torabi, B., 2014. Designing and Analysis of Agricultural Experiments, With SAS Programs. Jihad-Daneshgahi Mashhad Press 431 p.
25. Song, J., Shi, G., Xing, S., Chen, M., Wang, B., 2009. Effects of nitric oxide and nitrogen on seedling emergence, ion accumulation, and seedling growth under salinity in the euhalophyte *Suaeda salsa*. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 172(4): 544–549.
26. Sun, Y., Luo, W., Zhang, W., Ziumei, X., 2010. Effects of exogenous silicon on germination characteristics of cucumber seeds under $NaHCO_3$ stress. International Conference on Challenges in Environmental Science and Computer Engineering's Editorial Policy 1: 471–474. http://doi.org/10.1109/CESCE.2010.14.
27. Wang, X.D., Ou-yang, C., Fan, Z.R., Gao, S., Chen, F., Tang, F., 2010. Effects of exogenous silicon on seed germination and antioxidant enzyme activities of *Momordica charantia* under salt stress. *Journal of Animal and Plant Science* 6(3): 700–708.
28. Yamaguchi, T., Blumwald, E., 2005. Developing salt-tolerant crop plants: Challenges and opportunities. *Trends in Plant Science* 12: 615–620.
29. Zheng, C., Jiang, D., Liu, F., Dai, T., Liu, W., Jing, Q., Cao, W., 2009. Exogenous nitric oxide improves seed germination in wheat against mitochondrial oxidative damage induced by high salinity. *Environmenal and Experimental Botany* 67(1): 222–227.http://doi.org/10.1016/j.envexpbot. 2009.05.002.
30. Zhao, L.Q., Zhang, F., Guo, J.K., Yang, Y.L., Li, B.B., Zhang, L.X., 2004. Nitric oxide functions as a signal in salt resistance in the calluses from two ecotypes of reed. *Plant Physiololgy* 134(2): 849–857. http://doi.org/10.1104/pp.103.030023.
31. Zuccarini, P., 2008. Effect of silicon on photosynthesis, water relations and nutrient uptake of *Phaseolus vulgaris* under NaCl stress. *Biological Plantarom* 52(1): 157–160.

Effect of Seed Priming by Silicic Acid and Sodium Nitroprusside Solutions on Seed Germination and Seedling Growth of Greenhouse Tomato (*Lycopersicom esculentum* L. cv. Isabella) under Salinity Stress

N. Ghanaatian[1], A.H. Aboutalebi Jahromi[2]*, H. Sadeghi[2], S. Kalte Jari[1] and B. Behroznam[2]

(Received: 16 September 2020; Accepted: 5 December 2020)

Abstract

This investigation was conducted to evaluate the effect of seed pretreatment using silicic acid and sodium nitroprusside on the germination parameters of tomato (*Lycopersicom esculentum* cv. Isabella) under salinity stress based on a factorial arrangement in a completely randomized design with 5 replications. The first factor, salinity levels, included 0, 25, 50, 100 and 150 mM sodium chloride (0.067, 2.45, 5.44, 9.52 and 14.10 dS m^{-1}, respectively); the second one was the chemical pretreatment of the seed with/without 2.5 mM silicic acid solution (SiA), and the third one was the chemical pretreatment of the seeds with/without 100 mM sodium nitroprusside (SNP). Results showed that, due germination percentage, germination rate, seed vigor index and stress tolerance index were all decreased, but application of SiA and SNP improved some factors in Isabella tomato seed germination. Under saline conditions, the use of SiA and SNP had a significant effect on reducing the effects of salinity in the above-mentioned indices. In general, the negative effects of salinity on the seed germination characteristics could be reduced by pretreating tomato seeds with 100 µM SNP or 2.5 mM SiA solution, alone or in combination, under salinity levels up to 100 mM NaCl (i.e., 9.52 dS m^{-1}).

Keywords: Germination percent, Germination rate, Seed vigor index, Stress tolerance index.

Background and Objective: Tomato as the most important vegetable produced in the world (1). Tomatoes are classified as a semi-sensitive plant to salinity. Seed germination is usually the most important stage during seedling establishment (2). This investigation was conduction with aim of evaluation the effect of seed pre-treatment using silicic acid (SiA) and sodium nitroprusside (SNP) on germination parameters of tomato cv Isabella under salinity stress. Isabella is one of the most important tomato cultivars that is grown in greenhouse conditions as well as tomato scaffolding (3). In some southern of Iran, cultivation of greenhouse cultivars is done in scaffolding conditions. In this area, there is still a problem with access to suitable water or a desalination device in some areas, and farmers themselves are producing seedlings (4). Seed priming with substances such as SNP and silicic acid can improve the vegetative growth of seedlings after transfer to the main field, so production conditions in the main filed are not always irrigated with suitable water and sometimes occurs with water at high salinity levels. Therefore, seed priming with different materials can adapt the seedling to withstand stress conditions in the main field (5).

Methods: The experiment was carried out as factorial arrangement in a completely randomized design with 5 replications. The first factor was salinity levels include 0, 25, 50, 100 and 150mM sodium chloride (0.067, 2.45, 5.44, 9.52 and 14.10 dS m^{-1}, respectively); the second was chemical pretreatment of the seed with/without 2.5 mM SiA and

1. Department of Horticulture, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2. Department of Horticulture, Jahrom Branch, Islamic Azad University, Jahrom, Iran.
* Corresponding Author, Email: aa84607@gmail.com

the third was chemical pretreatment with/without 100 mM SNP. The studied characteristics were seed germination and rate,seed vigor index, seedling length, seedling fresh and dry weight, and stress index. The obtained data was analyzed using SAS ver. 9.1 software and the means were compared using LSD test ($p < 0.05$).

Results: Based on the results of variance analysis, silicic acid and salinity had a significant effect on all the studied traits but SNP only had a significant effect on seed vigor index. With regard to germination rate and average seedling length, a significant effect between SiA and SNP was observed. There was a significant interaction between SiA and salinity in all traits except germination percentage and stress tolerance index. The interaction between SNP and salinity was significant in all traits. On the other hand, a significant effect was observed between germination rate, seed vigor index and seedling fresh weight. According to the results, due to salinity stress, germination percentage and rate, seed vigor and stress index decreased, but application of SiA and SNP improved some factors in Isabella tomato seed germination. Under salinity conditions, use of SiA and SNP had a significant effect on reducing the effects of salinity on the above indices.

Conclusions: In general, negative effects of salinity on seed germination can be reduced by pre-treating seeds with 100 µM SNP or 2.5 mM SiA solution alone or in combination under salinity levels up to 100 mM NaCl (9.52 dS m^{-1}). The use of SiA significantly increased the germination percentage compared to control plants, although the use of SNP did not have a positive effect. Co-application of SiA and SNP at 100 mM salinity significantly increased germination rate. However, application of these two substances in non-salinity conditions resulted in a significant increase in germination rate. Therefore, the use of these two substances in the absence of salinity is also recommended. Positive effects of the combined use of SiA and SNP in salinity of 50 and 100 mM of NaCl based on seed vigor index, can be considered as a suitable treatment to overcome salinity stress. Also, the positive effects of the combined use of these two substances in salinity of 25 and 50 mM sodium chloride on the fresh weight of seedlings, as an indicator in improving the vegetative growth of seedlings can be considered.

References:

1. Faalian, A., Ansari, H., Kafi, M., Alizadeh, A., Moghaddasi M., 2015. Effect of salinity and drought stresses on economical aspect of hydroponic production of greenhouse tomato. *Journal of Water Research in Agriculture* 29(3): 317–330. (In Persian)
2. Haghighi, M., Afifipour, Z., Mozafarian, M., 2012. The alleviation effect of silicon on tomato seed germination and seedling growth under salinity stress. *Vegetable Crops Research Bulletin* 76: 119–126. (In Persian)
3. Hassanvand, F., RezaeiNejad, A. Feizian, M., 2017. Effect of silicic acid on some morphological and physiological characteristics of *Pelargonium graveolens* under $CaCl_2$ salinity stress. *Plant Research Journal* 30(2): 309–317. (In Persian)
4. Hubbard, M., Germida, J., Vujanovic, V., 2012. Fungal endophytes improve wheat seed germination under heat and drought stress. Botany 90(2): 137–149.
5. Gupta, B., Huang, B., 2014. Mechanism of salinity tolerance in plants: physiological, biochemical, and molecular characterization. *International Journal of Genomics* 2014: 701596.